

PROJECTO COM O APOIO



UNIÃO EUROPEIA  
FEDER

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO



*prime*  
Programa de Incentivos à  
Modernização da Economia

Departamento de Energias Renováveis Estrada do Paço do Lumiar 1649-038 Lisboa  
Tel 351 210 924 666 Fax 351 217 127 195 helder.goncalves@ineti.pt



## Edifício SOLAR XXI

Autor e Coordenador do Projecto de Investigação.....Doutor Helder Gonçalves  
Projecto Geral de Arquitectura.....Pedro Cabrito e Isabel Diniz, Arquitectos  
Coordenação de Engenharia.....Engº Luís Alves Pereira  
Construção.....Obrecol SA  
Fiscalização.....Souza Medeiros Lda  
Projecto de Estabilidade.....Gapres SA  
Projecto de Instalações Eléctricas.....Lomarisco Lda  
Projecto de Climatização.....Engº Manuel Mendes Nogueira  
Projecto de Águas e Esgotos.....Aquadomus Lda

### Equipa do INETI

Helder Gonçalves, Susana Camelo, Cristina Horta, Mariz Graça (estudos de modelação)  
António Joyce e Carlos Rodrigues (sistema fotovoltaico)  
Álvaro Ramalho, Rocha e Silva (experimentação)

Lisboa, Dezembro de 2005

# Edifício SOLAR XXI

## Um edifício energeticamente eficiente em Portugal

Campus do INETI, Lumiar

Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.

Departamento de Energias Renováveis





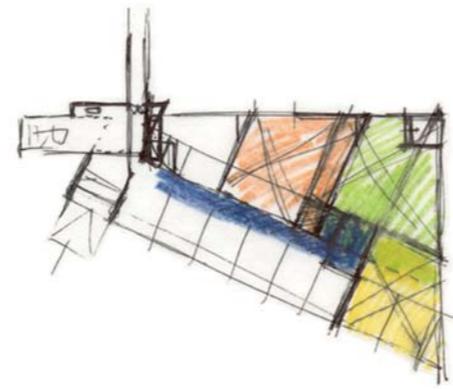
O desafio de projectar um edifício com um programa fundamentalmente orientado para a experimentação e testabilidade de estratégias solar passivas e activas tornou-se, desde o início, uma tarefa de grande responsabilidade, tendo em conta as expectativas de criar um exemplo paradigmático de integração arquitectónica destes sistemas.

A metodologia de desenho procurou, assim, conciliar a complexidade técnica de cada sistema proposto com necessidades específicas na orientação de fachadas e dimensionamento de vãos, sem perder a ideia de projecto de arquitectura, isto é, sem esquecer que o desenho de um edifício é sempre um acto criativo que propõe espaços, formas e materiais, numa interacção com o utilizador que ultrapassa a mera expressão básica de usos e funções.

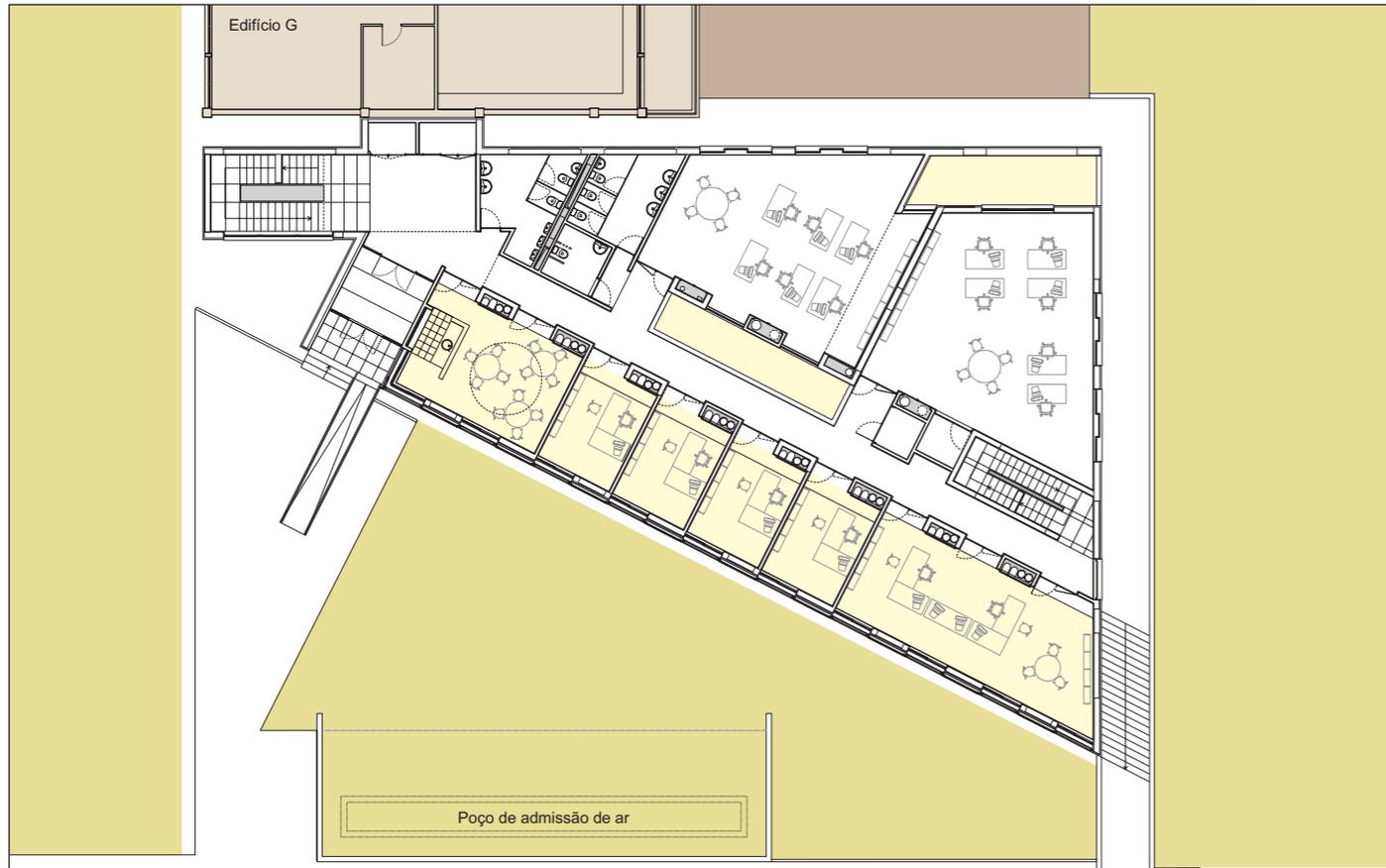
Desde os primeiros esboços, tornou-se claro que o conceito arquitectónico do Edifício Solar XXI deveria investigar uma síntese onde os sistemas propostos funcionassem como instrumentos na definição da lógica formal do todo, ao contrário de uma simples construção com sistemas adicionados na fase final do processo.

Se, por um lado, é a métrica "standard" e abstracta dos painéis fotovoltaicos que estrutura tanto o ritmo da fachada Sul como toda a geometria interna de espaços e alinhamentos, por outro, a implantação do edifício não procura apenas o Sol, mas resulta igualmente de uma atenção aos dados do sítio, relacionando-se activamente com a geometria do bloco adjacente e com o traçado de percursos pedonais existente.

**Pedro Cabrito**  
Arquitecto, Assistente de Projecto na FAUTL



Planta do piso térreo



O Edifício Solar XXI concretiza os esforços do Departamento de Energias Renováveis do INETI, de projectar e construir de raiz um edifício que possa constituir um "ex-libris" da eficiência energética em edifícios e da utilização das energias renováveis.

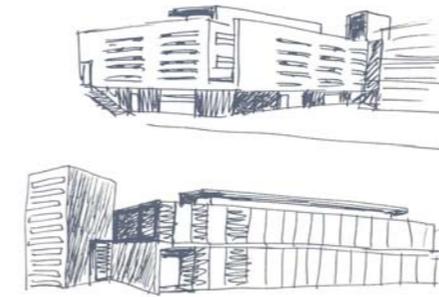
Este projecto resulta pois do esforço conjunto dos investigadores, técnicos e Conselhos Directivos do INETI, que continuamente apresentaram propostas e projectos para financiamento a várias entidades nacionais e internacionais. Em boa hora o Projecto foi apoiado pelo PRIME, sem o qual teria sido impossível a sua concretização, pelo que ficam aqui os nossos agradecimentos.

Deste Projecto de Investigação e deste Edifício espera-se que possa constituir um exemplo e um caso de estudo dos sistemas e tecnologias nele integrados. O mesmo associa uma estratégia de optimização da envolvente à utilização de sistemas solares, activos e passivos, onde se destaca a integração de sistemas fotovoltaicos nas fachadas com aproveitamento térmico e um sistema de arrefecimento passivo pelo solo.

Com a utilização destas estratégias, espera-se que as condições de conforto térmico do edifício sejam asseguradas reduzindo ou anulando quaisquer consumos energéticos para esse efeito.

Espera-se que o Edifício Solar XXI seja um exemplo a seguir na construção de Edifícios em Portugal, conduzindo a uma mudança tecnológica que necessariamente ocorrerá no presente Século.

**Helder Gonçalves**  
Coordenador do Projecto de Investigação



Vista geral da fachada Sul





Fachadas Poente-Sul



Fachada Sul



Fachada Nascente



Fachadas Nascente-Norte

O **Edifício Solar XXI** é um edifício com funções de serviços (salas e gabinetes de trabalho) e laboratórios, com uma área total de 1500 m<sup>2</sup> dividida por 3 pisos, um dos quais semi-enterrado. Apresenta uma distribuição dos espaços interiores onde as salas de ocupação permanente se localizam na frente orientada a Sul, de forma a tirar partido da insolação directa e assim promover ganhos de calor no Inverno. As zonas localizadas a Norte do edifício são ocupadas por espaços laboratoriais e salas para grupos de trabalho cuja ocupação é de carácter menos permanente.

Na zona central do edifício encontra-se um espaço de circulação e distribuição servido por uma ampla clarabóia que ilumina zenitalmente os três pisos, funcionando igualmente para ventilação pois os vãos ao nível da clarabóia podem-se abrir para esse efeito.

Em termos construtivos é um edifício constituído por paredes simples de alvenaria de tijolo de 22 cm de espessura, isoladas pelo exterior com 6 cm de poliestireno expandido, correspondendo a um valor de  $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

A laje de cobertura é maciça, isolada pelo exterior com 10 cm de isolamento (5 cm de poliestireno expandido + 5 cm de poliestireno extrudido) perfazendo um  $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; o pavimento em contacto com o solo é igualmente isolado com 10 cm de poliestireno expandido.

Os vãos são constituídos por vidro duplo incolor com um  $U = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , protegidos por estores exteriores de lâminas reguláveis, o que conduz a factores solares de Verão na ordem de  $F_s = 0,09$ . A solução do isolamento pelo exterior conduz naturalmente a uma situação de ausência de pontes térmicas.

Do ponto de vista da Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal, e de acordo com a nova regulamentação que vai entrar em vigor, muito mais exigente do que a actual, o edifício cumpre os seguintes requisitos:

$$\text{Nic} = 6,6 < \text{Ni} = 51,5 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$$

$$\text{Nvc} = 24,8 < \text{Nv} = 32,0 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$$

- Nic** - Necessidades de aquecimento
- Ni** - Necessidades de aquecimento de referência
- Nvc** - Necessidades de arrefecimento
- Nv** - Necessidades de arrefecimento de referência

A ideia inicial e objectivo central do projecto, é que o edifício possa responder positivamente às solicitações do clima de Lisboa, e que as condições de conforto térmico no seu interior sejam satisfeitas durante todo o ano.

O edifício, foi assim concebido numa lógica integradora de várias estratégias que no seu conjunto irão determinar o seu comportamento térmico final.

Este pressuposto, conduziu desde logo a dois princípios básicos:

- 1) Optimização da qualidade da sua envolvente
- 2) Potenciar os ganhos solares no edifício

**Optimização da qualidade térmica da envolvente**, de forma a diminuir as perdas térmicas do edifício no período de Inverno, com a adopção de isolamento térmico adequado na sua envolvente (nas paredes, coberturas e pavimentos).

O isolamento foi colocado pelo exterior, aumentando assim a sua “eficiência” uma vez que no período de Inverno mantém a “massa inercial” do edifício no interior e portanto conserva-o “mais quente”; no Verão, constitui uma primeira barreira à onda de calor exterior.

**Potenciar os ganhos solares** no Inverno e reduzi-los no Verão, foi a estratégia dominante no projecto, que determinou a sua implantação e o dimensionamento e orientação das áreas de vãos do edifício. Assim, o edifício apresenta uma fachada virada exactamente a Sul que constitui o principal elemento de “captação solar”, sendo que as restantes fachadas apresentam áreas de vãos mais diminutas.

Na fachada Sul, foram projectados amplos vãos que interagem directamente com os gabinetes de ocupação permanente, protegidos com estores de lâminas exteriores reguláveis pelo utilizador. Estes estores são elementos fundamentais em toda a estratégia “solar” do edifício. Pelo facto de serem reguláveis e orientáveis, o utilizador adequa a entrada de radiação solar e de luz para o seu espaço de trabalho. E o facto de serem aplicados pelo exterior, traduz-se numa “eficiência” e estratégia fundamental para o período de Verão, uma vez que evitam a incidência solar directa nos vãos e, portanto, o aquecimento do interior.

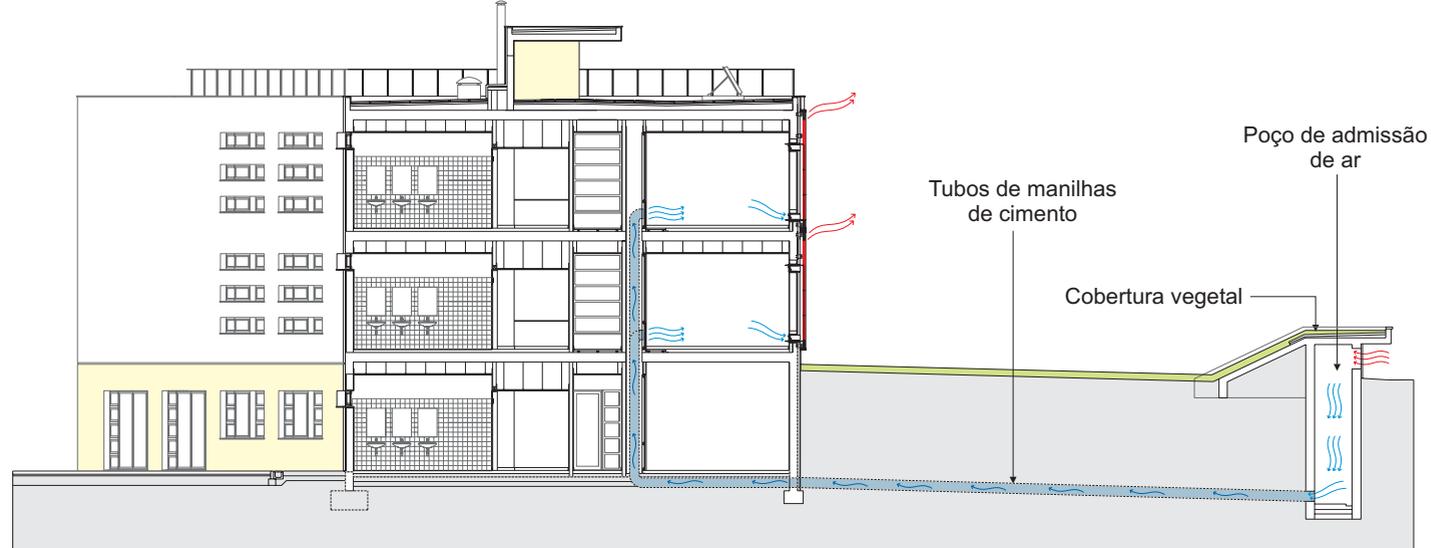
Na fachada Sul, foi projectada a integração de um **sistema solar fotovoltaico** com painéis modulares, cobrindo uma superfície total de cerca de 100 m<sup>2</sup>, em harmonia com os vãos envidraçados. Este sistema foi pensado de forma a que se pudesse aproveitar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos no período de Inverno e, assim, contribuir para o aquecimento do ar ambiente dos gabinetes e espaços contíguos.

Um outro sistema passivo, integrado neste edifício é um **sistema de arrefecimento pelo solo**, que permitirá o arrefecimento do ar a ser injectado no edifício durante o período de Verão. Este sistema foi pensado como solução complementar a uma estratégia global para o período de Verão, onde se inclui uma diminuição dos ganhos solares no edifício associado a um esquema de ventilação natural.

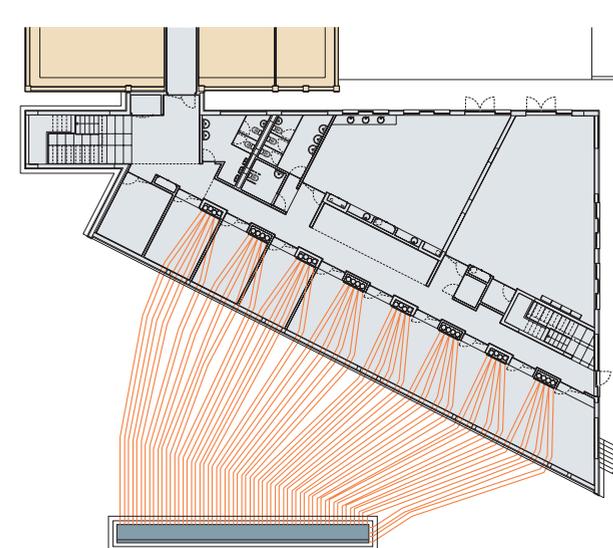
O projecto dedicou particular atenção às questões de **iluminação natural**, tendo definido vários sistemas que potenciam a captação da luz natural, nomeadamente um “poço de luz” central no edifício que atravessa os seus 3 pisos e a adopção de superfícies translúcidas no interior.

Aspectos da fase de construção





Sistema de arrefecimento do ar através de tubos enterrados



Traçado da tubagem entre o poço de admissão de ar e o interior do edifício



Aspecto exterior do poço de admissão de ar com grelha contínua

## SISTEMA DE ARREFECIMENTO PASSIVO

Como já foi referido anteriormente, o Edifício Solar XXI vai utilizar um conjunto de medidas e estratégias que, no seu conjunto, constituem o “sistema de arrefecimento natural do edifício” no período de Verão.

Estas estratégias conjugam os seguintes efeitos:

Obstrução aos ganhos solares, quer na envolvente opaca, onde o isolamento pelo exterior tem um papel importante, quer nos vãos envidraçados através dos estores exteriores reguláveis; a optimização da ventilação natural no edifício que, no período nocturno, deverá ter um papel importante; o arrefecimento do ar através de tubos enterrados, que permitirão a entrada de ar arrefecido no interior do edifício.

A ventilação natural e, sobretudo, a ventilação nocturna permitirá uma gestão das cargas internas do edifício, fundamental para a boa prestação térmica do mesmo. Foram desenhados sistemas que possibilitam ao utilizador a gestão individual da sua sala ou gabinete em termos de ventilação transversal.

Quanto ao sistema de arrefecimento pelo solo, que constitui a inovação maior no conjunto de estratégias de arrefecimento idealizadas para este edifício, a ideia fundamental resulta do solo apresentar temperaturas (terra) no período de Verão que variam entre os 16 e os 18°C, enquanto a temperatura do ar pode subir até aos 35°C.

Processo constructivo



Existe, assim, um potencial de frio na terra (fonte fria) muito interessante para arrefecer o ar que será injectado no interior do edifício, sempre que estejam reunidas as condições para tal.

A montagem deste sistema consistiu na colocação de 32 tubos de manilhas de cimento (com um diâmetro de 30 cm) enterradas a 4,6 m, e que constituem o “permutador de calor” que permitirá a “transferência de calor” do ar com a fonte fria (terra) e, assim, arrefecer o ar a injectar no edifício. De referir que a escolha das manilhas corresponde a uma opção de utilizar um material de grande condutibilidade e assim facilitar as “trocas” de calor. A entrada de ar é feita a partir de um poço de alimentação, construído a cerca de 15 metros do edifício. Estes tubos entram no edifício pelo piso enterrado e, nesta situação, já se utilizou tubagem em PVC, uma vez que já não se coloca a questão da transferência de calor. O percurso da tubagem sobe na vertical pelas coretes centrais do edifício (tubos metálicos tipo “spiro”), efectuando-se a distribuição do ar directamente e individualmente nas salas do piso térreo e do piso 1. Cada sala recebe dois tubos e respectivas saídas de ventilação, que o utilizador poderá controlar em termos de abertura e fecho. A gestão funcional do sistema dependerá muito do comportamento global do edifício em termos térmicos, e do comportamento dos utilizadores.

Prevê-se que o sistema possa funcionar com maior eficiência se a entrada de ar a partir dos tubos for accionada a partir do meio da tarde, altura em que se requer ar frio para compensar o aumento da temperatura interior.

O utilizador deverá ter em atenção que este “sistema” não é um “sistema de ar condicionado”, que fica ligado todo o dia.

Será o conjunto de estratégias de ventilação (diurna e nocturna) que determinará o nível de cargas no interior do edifício e respectiva temperatura, sendo que o sistema de arrefecimento pelo solo vem complementar a estratégia de ventilação.

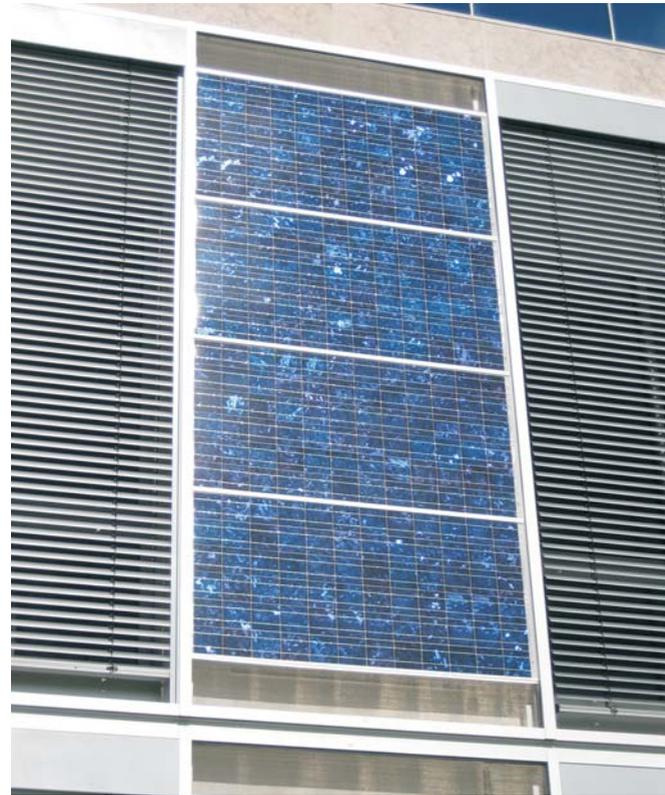
Saídas de ventilação no interior das salas



## SISTEMA FOTOVOLTAICO

O propósito de integrar no Edifício Solar XXI um sistema fotovoltaico, foi uma intenção de primeira hora, quando do arranque do projecto do edifício. Sendo um edifício demonstrativo e de estudo na área das Energias Renováveis, desejou-se que o “solar fotovoltaico”, a par do “solar térmico” (activo e passivo), constituísse parte integrante e fundamental neste projecto.

Vários desafios envolveram esta opção, motivada pelo desejo de integrar na arquitectura do edifício um novo elemento, eventualmente “estranho” à concepção arquitectónica, mas que pudesse constituir um exemplo positivo de integração. Neste processo, uma das questões fundamentais teve que ver com a sua localização no edifício, fachada *versus* cobertura, ou a sua inclinação de modo a potenciar a captação solar e assim aumentar a produção de energia eléctrica. A maturação destas questões conduziu à ideia de um aproveitamento suplementar deste “sistema”, o de recuperar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos e utilizá-lo para aquecimento do edifício.



Módulo de painéis fotovoltaicos com ventilação inferior e superior



Aspecto dos orifícios de ventilação no interior das salas viradas a Sul

Durante um dia de Inverno, o utilizador poderá aquecer a sua sala abrindo os dois orifícios e, desta forma, permitir a circulação contínua do ar entre a sala e o espaço posterior dos painéis.

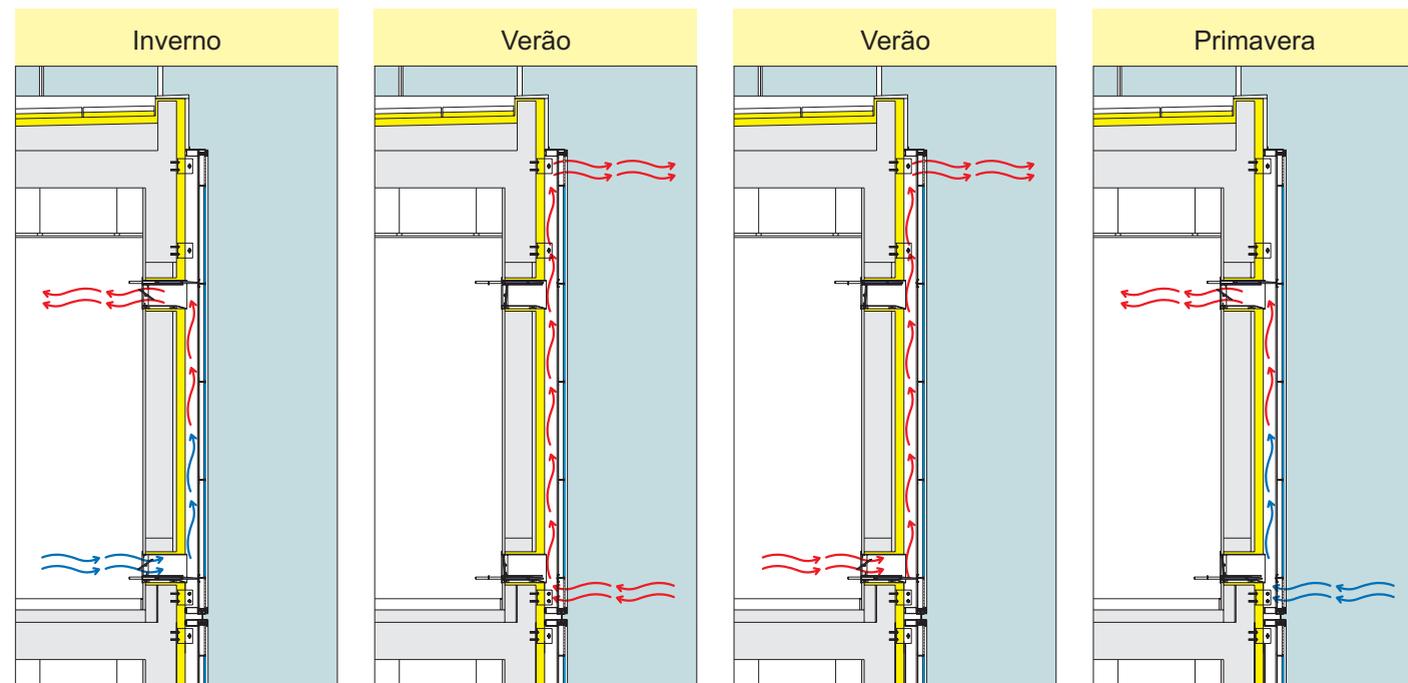
No período de Verão, poderão ocorrer duas situações:

O calor produzido nos painéis é evacuado directamente para o exterior ou, noutra situação, é aproveitado o efeito de chaminé para evacuação do calor interno da sala para o exterior.

Finalmente, o sistema poderá ainda funcionar na meia estação como um sistema de pré-aquecimento do ar novo, no qual o ar do exterior circula por convecção natural no espaço posterior dos painéis, onde é aquecido, sendo injectado directamente no interior da sala através do orifício superior de comunicação entre os painéis e a sala.

O edifício tem um sistema de aquecimento auxiliar, com base num sistema solar com colectores do tipo CPC com apoio de uma caldeira a gás natural. Espera-se que este sistema de aquecimento possa providenciar total conforto térmico para alguns períodos mais rigorosos do Inverno e em particular para as zonas a norte do edifício.

Esquema de funcionamento do sistema fotovoltaico com aproveitamento térmico



Pormenor do sistema de abertura e fecho dos orifícios de ventilação



Projectou-se, assim, um sistema fotovoltaico integrado na fachada Sul do edifício, agrupando módulos de painéis fotovoltaicos (silício multicristalino) em posição vertical, numa superfície total de 100m<sup>2</sup>.

Estes painéis permitem o fornecimento directo de energia eléctrica ao edifício, cerca de 12 kWp, capazes de produzir 12000 kWh/ano para as condições específicas de integração vertical na fachada e para o clima de Lisboa.

A integração destes painéis foi feita, de acordo com o esquema da figura, de modo a permitir o aproveitamento térmico do calor produzido no período de Inverno.

Este calor aquece a faixa de ar existente entre os painéis fotovoltaicos e a parede exterior do edifício, potenciando correntes de convecção natural.

Assim, cada sala comunica directamente com o espaço posterior dos painéis, recuperando o calor produzido através de dois orifícios, um inferior e outro superior, controlados pelo utilizador da sala.

## VENTILAÇÃO E ILUMINAÇÃO NATURAL

Face ao nosso clima, com amplitudes térmicas importantes, e tendo em conta que este edifício possui uma tipologia de ocupação essencialmente diurna, foi definido conceptualmente que a ventilação natural, tanto no Inverno como, sobretudo, no Verão seria uma das estratégias fundamentais a seguir. O projecto deu, assim, particular atenção à necessidade de implementar um sistema prático de ventilação natural.

As aberturas nas diferentes fachadas foram projectadas de forma a permitir uma ventilação transversal (norte-sul ou sul-norte) que possa “varrer” as salas e todo o edifício. Esta situação é possível pela existência de bandeiras superiores de lâminas reguláveis em todas as portas e vãos interiores, que coexistem com o poço central de iluminação que, por sua vez, permite uma ventilação ascensional por efeito de chaminé, uma vez que no topo do poço se encontram aberturas motorizadas.



Colectores solares na cobertura e vão exterior para iluminação e ventilação

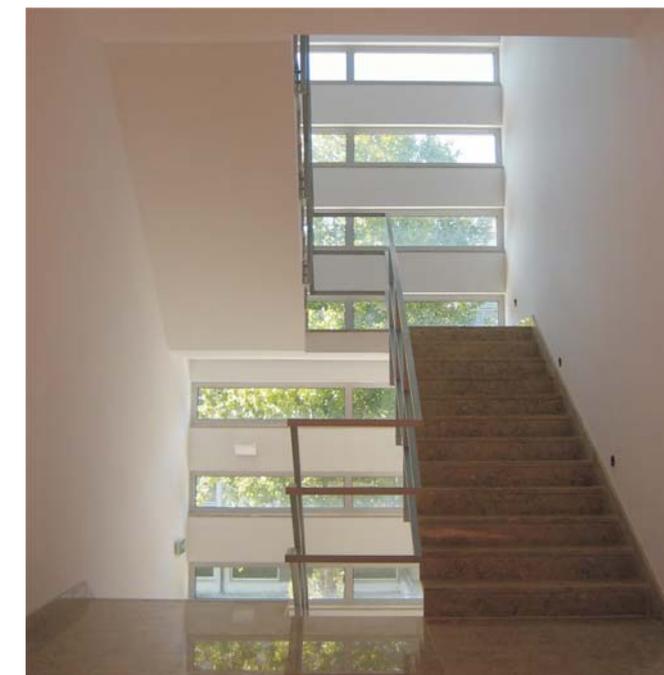
Vazio central para iluminação e ventilação



Corredor de distribuição e vãos interiores translúcidos de lâminas reguláveis



Iluminação do piso de cave através de luz zenital



Aspecto da iluminação natural no bloco de escadas principal

A situação de ventilação ascensional ocorre também na escada principal do edifício, localizada a Poente, que possui aberturas na parte inferior e superior que permitem essa circulação do ar. O mesmo se repete no bloco de escadas virado a Nascente, com a existência de uma clarabóia motorizada de “desenfumagem” que permite obter o mesmo efeito de ventilação.

O interior do edifício apresenta um excelente nível de iluminação natural para o qual contribuem vários aspectos:

Todas as salas a Sul têm vãos exteriores com grandes áreas de envidraçados, as portas de comunicação com o corredor possuem bandeiras translúcidas e a zona central do edifício é atravessada por um poço de luz comum aos 3 pisos, com clarabóia ao nível da cobertura. As salas orientadas a Norte também comunicam com este poço de luz zenital, através de superfícies translúcidas quer em bandeiras de portas quer em vãos interiores.

Finalmente, nas salas posicionadas a Norte-Nascente existe uma parede exterior cega que funciona como um elemento reflector de luz, facilitando a obtenção de um excelente nível de iluminação nestas salas.

